

Family list

7 family members for: JP6036877

Derived from 4 applications

[Back to JF](#)

- 1 **Organic electroluminescent device.**
Inventor: EGUSA SYUN (JP); WATANABE YOKO (JP)
EC: H05B33/26; H01L51/00M6; (+6)
Publication info: EP0553950 A2 - 1993-08-04
EP0553950 A3 - 1994-11-23
Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO (JP)
IPC: H01L51/00; H01L51/30; H01L51/50 (+8)
- 2 **ORGANIC EL ELEMENT**
Inventor: EKUSA TAKASHI
EC:
Publication info: JP3237905B2 B2 - 2001-12-10
JP6036877 A - 1994-02-10
Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO
IPC: H01L51/05; G11B7/24; H01L33/00 (+16)
- 3 **ORGANIC EL ELEMENT**
Inventor: EKUSA TAKASHI; WATANABE YOKO
EC:
Publication info: JP3476855B2 B2 - 2003-12-10
JP5326146 A - 1993-12-10
Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO
IPC: H01L51/05; H01L33/00; H01L51/50 (+16)
- 4 **Organic electroluminescent device with low barrier height**
Inventor: EGUSA SYUN (JP); WATANABE YOKO (JP)
EC: H05B33/26; H01L51/00M6; (+6)
Publication info: US5343050 A - 1994-08-30
Applicant: TOKYO SHIBAURA ELECTRIC CO (JP)
IPC: H01L51/00; H01L51/30; H01L51/50 (+9)

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-36877

(43)公開日 平成6年(1994)2月10日

(51)Int.Cl.⁵

H 0 5 B 33/14

H 0 1 L 29/28

33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

A 8934-4M

審査請求 未請求 請求項の数2(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平4-190353

(22)出願日 平成4年(1992)7月17日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 江草 俊

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株

式会社東芝総合研究所内

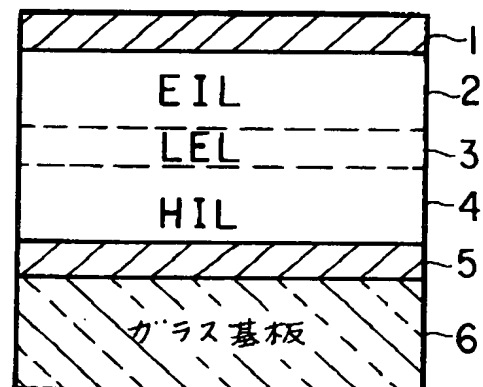
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54)【発明の名称】 有機E L素子

(57)【要約】

【目的】低電圧で高効率の発光を実現できる有機E L素子を提供する。

【構成】電子注入用の第1の電極と、正孔注入用の第2の電極と、これらの電極間に設けられた発光層及び少なくとも1層のキャリア注入層とを具備した有機E L素子において、発光層におけるキャリア移動度 μ_{HL} とキャリア注入層におけるキャリア移動度 μ_{CIL} とが、 $\mu_{CIL} / \mu_{HL} > 10^4$ の関係を有する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 電子注入用の第1の電極と、正孔注入用の第2の電極と、これらの電極間に設けられた発光層及び少なくとも1層のキャリア注入層とを具備した有機EL素子において、発光層におけるキャリア移動度 μ_{EL} とキャリア注入層におけるキャリア移動度 μ_{CIL} とが、 $\mu_{\text{CIL}} / \mu_{\text{EL}} > 10^4$ の関係を有することを特徴とする有機EL素子。

【請求項2】 キャリア注入層におけるキャリア移動度が

$$\mu_{\text{CIL}} > 10^{-2} \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$$

であることを特徴とする請求項1記載の有機EL素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は有機色素を含む有機膜を用いた発光素子（EL素子）に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、表示素子や照明素子などとして用いられる有機EL素子の研究開発が盛んに行われている。例えば、九州大学の斎藤省吾は、金属電極／芳香族色素／ポリチオフェン／透明電極を用いた有機2層構造のEL素子を報告している（J. J. Appl. Phys., 25, L773, 1986）。しかし、この素子では、有機膜の膜厚が1 μm 以上であり、印加電圧も100V以上と高い。これに対して、コダック社のC. W. Tangらは、Mg・Ag／Alq₃／ジアミン／ITOという有機2層構造のEL素子を報告している（Appl. Phys. Lett., 51, 913, 1987）。この報告によれば、有機膜の膜厚を100nm以下にすることによって、印加電圧10V以下で駆動し、実用上十分な輝度を示す素子が得られている。これらのEL素子は、電子注入性の色素と正孔注入性の色素とを組み合わせることで有機2層構造とし、有機膜をできるだけ薄くすること、電子注入側の金属電極に仕事関数の小さいものを選ぶこと、真空蒸着法又は昇華法によって有機膜を形成する際に電気的欠陥が発生しないような材料を選択すること、などを主要な特徴としている。更に、九州大学の斎藤省吾は、電子注入層／発光層／正孔注入層という有機3層構造のEL素子を提案している。この構造では、発光層として高いフォトルミネセンスを示す色素を選ぶことによって高輝度発光が得られている

（J. J. Appl. Phys., 27, L269, 1988）。

【0003】 その他これまでに、各種の有機膜の組み合わせによるEL素子構造、単層の有機膜であっても発光剤と正孔注入剤とを混合することによってある程度の発光が認められること、発光体であるAlq₃の特性劣化に関する研究などが報告され、多くの特許出願がなされている。

【0004】 また、幾つかの研究報告では、用いる有機

膜の電子又は正孔の移動度と発光輝度や発光効率との関係が検討されている。これらの研究では、一般的に用いられる材料系の薄膜におけるキャリア移動度は $10^{-6} \sim 10^{-4} \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$ の範囲にあることが報告されている。キャリアの移動度が低いと、有機膜の抵抗が高くなるため、その分だけ印加電圧を高める必要があると考えられている。したがってこれまでの研究では、できるだけキャリア移動度の高い材料又は膜構造を用いることが目標となっている。しかし、従来の有機EL素子では、0.1～1%という低い発光量子効率しか得られていない。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、低電圧で高効率の発光を実現できる有機EL素子を提供することにある。

【0006】

【課題を解決するための手段と作用】 本発明の有機EL素子は、電子注入用の第1の電極と、正孔注入用の第2の電極と、これらの電極間に設けられた発光層及び少なくとも1層のキャリア注入層とを具備した有機EL素子において、発光層におけるキャリア移動度 μ_{EL} とキャリア注入層におけるキャリア移動度 μ_{CIL} とが、 $\mu_{\text{CIL}} / \mu_{\text{EL}} > 10^4$ の関係を有することを特徴とするものである。

【0007】 本発明の有機EL素子においては、キャリア注入層におけるキャリア移動度 μ_{CIL} が $10^{-2} \text{ cm}^2 / \text{V} \cdot \text{sec}$ を超えることが好ましい。なお、有機膜中のキャリア移動度は、一般にTOF法（Time of Flight）法によって測定できる。

【0008】 本発明において、発光層（LEL）とは、電極から直接又はキャリア注入層を介して注入された電子と正孔とが再結合して発光する領域を意味する。キャリア注入層（CIL）は電子注入層（EIL）と正孔注入層（HIL）とに分類される。電子注入層とは、第1の電極と発光層との間に設けられ、第1の電極から電子が注入され、さらに電子を発光層へ注入させる領域を意味する。正孔注入層とは、第2の電極と発光層との間に設けられ、第2の電極から正孔が注入され、さらに正孔を発光層へ注入させる領域を意味する。

【0009】 本発明の有機EL素子は、電子注入用の第1の電極と正孔注入用の第2の電極との間に、単層又は複数層のキャリア注入層と発光層とを形成した構造を有する。本発明に係る有機EL素子の一般的な構造を図1に示す。図1の有機EL素子は、上から見て、電子注入用の第1の電極1、電子注入層（EIL）2、発光層（LEL）3、正孔注入層（HIL）4、正孔注入用の第2の電極5、およびガラス基板6で構成されている。光はガラス基板6側から取り出される。

【0010】 なお本発明では、発光層と電子注入層との2層構造、又は発光層と正孔注入層との2層構造も考え

られる。この場合、発光層はそれぞれ正孔注入性および電子注入性を有する。キャリア注入層は有機材料ではなく、無機材料で構成してもよい。また、第1の電極と電子注入層との間の電子注入障壁、および第1の電極と発光層との間に複数の有機膜が形成されている場合におけるこれらの有機膜間の電子注入障壁は小さく設計されていることが好ましい。同様に、第2の電極と正孔注入層との間の正孔注入障壁、および第2の電極と発光層との間に複数の有機膜が形成されている場合におけるこれらの有機膜間の正孔注入障壁は小さく設計されていることが好ましい。さらに、RGB各色で発光波長を自由に設定しようとする、有機膜のバンドギャップが最大で3.0~3.5 eV程度に広がる。このような範囲のバンドギャップを有する有機膜に対して電子注入および正孔注入を可能にするためには、第1の電極としてできるだけ仕事関数の小さいもの、第2の電極としてできるだけ仕事関数の大きいものを選択することが好ましい。

【0011】図1の有機EL素子の動作を図2~図4を参照して概略的に説明する。図2に図1の有機EL素子の接合状態を示す。また、図3に第1の電極に負の電圧を印加した状態を示す。このとき第1の電極から電子注入層へ電子が注入され、電子注入層では電子の移動度が高いため、電子は速やかに発光層に達する。一方、第2の電極から正孔注入層へ正孔が注入され、正孔注入層では正孔の移動度が高いため、正孔は速やかに発光層に達する。さらに高い電圧を印加すると、図4に示すように、発光層ではキャリアの移動度が低いため、電子が蓄積され電子密度が高い空間電荷層が形成されるとともに、正孔が蓄積されて正孔密度が高い空間電荷層が形成される。そして、発光層に形成された電子と正孔との空間電荷層の間で再結合が起き、有機膜から発光が得られる。両者の再結合速度はあまり大きくないので、発光効率を高めるためには、電子と正孔とを発光層内にできるだけ長時間閉じ込めることが好ましい。いま、発光層でのキャリアの滞留時間を τ_{EL} 、キャリア注入層でのキャリアの滞留時間を τ_{CIL} とすると、

$$\tau_{\text{EL}} \gg \tau_{\text{CIL}}$$

とすれば、再結合効率が向上する。ここで、 $\tau = d / \mu \cdot E$ (d は膜厚、 E は電界強度)であるから、上式は $d_{\text{EL}} / \mu_{\text{EL}} \gg d_{\text{CIL}} / \mu_{\text{CIL}}$

【0012】と書き直せる。 τ_{EL} を大きくするためには、膜厚 d_{EL} を大きくすることも考えられる。しかし、有機EL素子の場合、 d を大きくすると有効な電界強度を得るための駆動電圧が非常に大きくなるため、現実的ではない。一般に、 d は 10^{-5} cm程度に設定される。本発明では、 $\mu_{\text{EL}} < \mu_{\text{CIL}} / 10^4$ とすることにより、 $\tau_{\text{EL}} > 10^4 \cdot \tau_{\text{CIL}}$ となり再結合効率の向上が実現される。

【0013】さらに、 μ_{CIL} を例えば 10^{-2} cm² / V · sec未満とする場合について考える。素子に印加さ

れる電界強度 E は一般に 10^6 V / cmであるから、この場合上式より τ_{CIL} は 10^{-9} sec程度と見積もられる。また本発明の有機EL素子では概略 $\tau_{\text{EL}} > 10^4 \cdot \tau_{\text{CIL}}$ であるため、 τ_{EL} は 10^{-5} sec以上となる。一方、有機膜内でキャリアが再結合する速度は、一般に 10^{-6} secのオーダーである。したがって、キャリアが発光層内に存在する時間 τ_{EL} が前述したように 10^{-5} sec以上であれば、キャリアが再結合するのに十分な時間が確保される。そして、発光層に電子と正孔とが高密度に存在するため再結合確率が上昇し、発光効率が向上する。このため、発光層の膜厚を薄くできる効果も得られる。

【0014】また、本発明の有機EL素子では、素子抵抗はキャリア移動度の逆数に比例するので、少なくともキャリア注入層の素子抵抗を低減でき、これによって動作電圧を低減できる。さらに、本発明の有機EL素子では、キャリア注入層と発光層とのキャリア移動度の大小関係によって電子と正孔との同時注入を可能にしているため、有機膜の電気的接合条件に関してそれほど厳しい条件が要求されることはない。一般に、有機膜の電気的接合条件を制御することは困難であるため、本発明の有機EL素子は使用する材料の選択、製造条件などの点で有利である。

【0015】本発明の有機EL素子を実現するためには、素子を構成する各有機膜における電子および正孔の移動度を制御する必要がある。その制御の仕方に応じて、以下に示すように種々の素子構造が考えられる。

【0016】(A) 有機膜中のキャリア移動度は、結晶構造を有する場合には高くアモルファス構造を有する場合には低いという性質を利用して、単一の有機化合物を用い、発光層をアモルファス構造の領域とし、キャリア注入層を結晶構造の領域とした素子構造。(B) キャリア移動度の異なる複数種の有機膜を積層した素子構造。

(C) 発光層が連続した井戸型ポテンシャル構造のバンドを持つ素子構造。

【0017】(A)の素子構造を有する有機EL素子について、より詳細に説明する。この有機EL素子は、たとえば図1に示すような構造を有する。この素子構造を有する有機EL素子は、1種類の有機化合物を用い、成膜条件を制御して、結晶構造を有する有機膜、アモルファス構造を有する有機膜(発光層)、結晶構造を有する有機膜を順次形成することにより製造できる。前述したTOF法によって測定された各有機膜のキャリア移動度は、アモルファス構造の有機膜では $10^{-10} \sim 10^{-4}$ cm² / V · sec、結晶構造の有機膜では $10^{-5} \sim 10^2$ cm² / V · secの範囲の値となる。したがって、適切な材料を選択して、このような構造を採用すれば、本発明の条件を満たすことができる。

【0018】(B)の素子構造を有する有機EL素子についてより詳細に説明する。この有機EL素子は、たと

例えば電子注入用の第1の電極と正孔注入用の第2の電極との間に第1の電極側から第1～第nの有機膜の積層構造を挟んだ構造を有する。この素子では、キャリア移動度の異なる複数の有機材料が組み合わせて用いられている。ここで、第m番目の有機膜を発光層とする。いま、第i番目の有機膜について電子の移動度を μ^e_i 、正孔の移動度を μ^h_i とすると、電子の移動度に関して $\mu^e_i / \mu^e_{i-1} > 10^4$ ($i = 1 \sim m-1$)、正孔の移動度に関して $\mu^h_i / \mu^h_{i-1} > 10^4$ ($i = n \sim m+1$)という関係を満たしている。

【0019】図5にこの有機EL素子の接合状態を示す。またこの有機EL素子の作用を図6を参照して説明する。まず第1の電極 M_1 に負の電圧を印加する。第1の電極 M_1 から電子が第1の有機膜 O_1 、第2の有機膜 O_2 の順に注入され、さらに第mの有機膜 O_m に注入される。第mの有機膜 O_m 中における電子の移動度が低いために、電子は第mの有機膜 O_m に蓄積され、電子密度が高い空間電荷層が形成される。一方、第2の電極 M_2 から正孔が第nの有機膜 O_n 、第n-1の有機膜 O_{n-1} の順に注入され、さらに第mの有機膜 O_m に注入される。第mの有機膜 O_m 中における正孔の移動度が低いために、正孔は第mの有機膜 O_m に蓄積され、正孔密度が高い空間電荷層が形成される。そして、第mの有機膜 O_m に形成された電子と正孔との空間電荷層の間で再結合が起き、発光が得られる。すなわち、第mの有機膜 O_m に注入された電子と正孔とが、隣接する層へ流れ去る速度よりも再結合する速度が高いため、発光効率が向上する。

【0020】前述したように本発明の有機EL素子では、キャリア注入層と発光層とのキャリア移動度の大小関係によって電子と正孔との同時注入を可能にしているため、有機膜の電気的接合条件に関してそれほど厳しい条件が要求されることはないため、素子の設計が容易になる。ただし、動作電圧を低減するためには、さらに電極と有機膜との間および有機膜と有機膜との間の電気的接合が最適化されていることが好ましい。

【0021】さらに、(B)の素子構造を有する有機EL素子において、キャリア注入層を結晶構造を有する有機膜で形成してキャリア移動度を高めれば、素子抵抗を低減して動作電圧を低減できる。

【0022】(C)の構造を有する有機EL素子についてより詳細に説明する。この有機EL素子では、図5に図示した有機EL素子における発光層(第m層)が、2種の有機膜 m_1 、 m_2 の交互積層体で構成されている。2種の有機膜に関して、各々のバンドギャップを E_{m1} 、 E_{m2} とし、各々の価電子帯、伝導帯の真空準位からのエネルギー差を E_{va1} 、 E_{ca1} 、 E_{va2} 、 E_{ca2} としたとき、これらの2種の有機膜としては、 $E_{m1} < E_{m2}$
 $E_{ca1} > E_{ca2}$

$$E_{va1} < E_{va2}$$

という関係が成立するものが選択される。なお、

$$E_{ca1} - E_{ca2} \leq 0.4 \text{ eV}$$

$$E_{va2} - E_{va1} \leq 0.4 \text{ eV}$$

であることが好ましい。

【0023】図7にこの有機EL素子の発光層の接合状態を示す。2種の有機膜 m_1 、 m_2 が交互に積層されることによって、価電子帯および伝導帯は、浅い井戸型ポテンシャルが連続したバンド構造となる。図5と同様に、第1の電極(図示せず)から第1～第m-1の有機膜(図示せず)を通して有機膜 m_1 に電子が注入されると、隣接する有機膜 m_2 との間の低い電子注入障壁の存在のため、電子は障壁の直前である程度の密度で蓄積する。蓄積密度が上昇し障壁を乗り越えることができる電界が印加されると、電子は有機膜 m_2 に注入される。有機膜 m_2 に注入された電子は隣接する有機膜 m_1 との間に障壁がないため、そのまま次の有機膜 m_1 に注入され、再び電子の蓄積が起こる。このように連続的に形成された障壁で次々に蓄積が起き、全体としては電子の空間電荷層が形成される。一方、第2の電極(図示せず)から第n～第m+1の有機膜(図示せず)を通して有機膜 m_1 に正孔が注入されると、隣接する有機膜 m_2 との間の低い正孔注入障壁の存在のため、正孔は障壁の直前である程度の密度で蓄積する。蓄積密度が上昇し障壁を乗り越えることができる電界が印加されると、正孔は有機膜 m_2 に注入される。有機膜 m_2 に注入された正孔は隣接する有機膜 m_1 との間に障壁がないため、そのまま次の有機膜 m_1 に注入され、再び正孔の蓄積が起こる。このように連続的に形成された障壁で次々に蓄積が起き、全体としては正孔の空間電荷層が形成される。そして、有機膜 m_1 では電子と正孔との空間電荷層が重なっており、再結合発光が起こる。このときの発光波長は E_{m1} に対応する。

【0024】この有機EL素子の発光層では、低い障壁が連続的に形成されているため、見掛上キャリアの移動度が小さくなり、空間電荷層が形成されてキャリアが効率よく再結合する。したがって、2種の有機膜 m_1 、 m_2 におけるキャリア移動度は必ずしも低い必要はなく、キャリア移動度の高いものを用いても差支えない。

【0025】

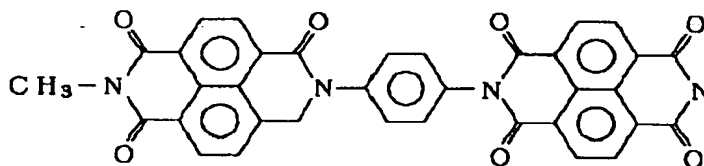
【実施例】以下、本発明の実施例を説明する。

(実施例1)

【0026】図1に本実施例における有機EL素子を示す。この素子は、 $\text{Sm} \cdot \text{Au}$ 合金からなる第1の電極1およびITO膜からなる第2の電極5の間に、下記化学式(1)で示される有機化合物を用いて、結晶構造を有する電子注入層(EIL)2、アモルファス構造を有する発光層(LEL)3、および結晶構造を有する正孔注入層(HIL)4の3つの領域が形成されている。

【0027】

【化1】



【0028】この素子は、以下のようにして作製された。アルカリ成分を含まないガラス基板6上にスパッタ法によりITO膜を200nmの厚さに形成する。次いで、このITO膜の形成された基板をMBE装置内にセットし、 10^{-10} torrの超高真空中に真空引きし、

(1)式の有機化合物を0.01nm/secの成膜速度で成膜する。この際、基板温度40℃で結晶膜を50nmの厚さに成膜し、基板温度を-30℃に変えてアモルファス膜を20nmの厚さに成膜し、再び基板温度を40℃に戻して結晶膜を50nmの厚さに成膜する。最後に、真空蒸着法によりSm・Au合金を100nmの厚さに形成する。

【0029】予め、式(1)の有機化合物について結晶膜とアモルファス膜とを作製し、TOF法によりキャリア(電子および正孔)の移動度を測定したところ、結晶膜では約 10^{-4} cm²/V・sec、アモルファス膜では約 10^{-10} cm²/V・secであった。この素子に15Vの電圧を印加すると、100mA/cm²の電流が流れ、波長500nmの青緑色の発光が1000cd/cm²の輝度で得られた。

*【0030】比較のために、第1の電極および第2の電極間に式(1)の有機化合物を用いた膜厚150nmのアモルファス構造の単一層の有機膜が形成された素子を作製した。比較例の有機EL素子では、実施例1の素子と同一の電流密度を得るためには約3倍の動作電圧が必要であり、発光輝度も低下した。また、比較例の素子では短絡の確率が増加し、短絡が生じない場合でも寿命が大幅に減少した。

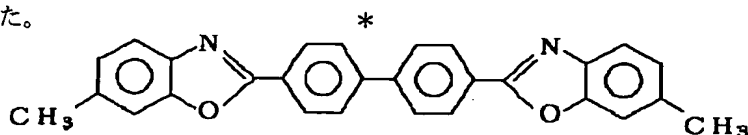
(実施例2)

【0031】図9に本実施例の有機EL素子を示す。この素子は、上から見てA1からなる第1の電極M₁ 1、電子注入層2として下記化学式(2)の有機化合物からなる第1の有機膜O₁、発光層3として下記化学式

(3)の有機化合物からなる第2の有機膜O₂、正孔注入層4として下記化学式(4)の有機化合物からなる第3の有機膜O₃、ITO膜からなる第2の電極M₂ 5およびガラス基板6で構成されている。

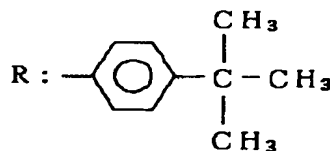
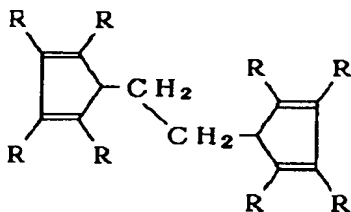
【0032】

【化2】



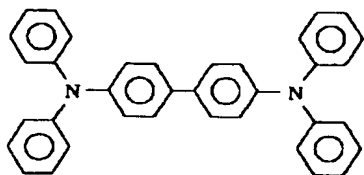
【0033】

※ ※ 【化3】



【0034】

【化4】



【0035】この素子は以下のようにして作製された。アルカリ成分を含まないガラス基板6上にスパッタ法によりITO膜を200nmの厚さに形成した。次いで、このITO膜の形成された基板を高真空蒸着装置にセッ

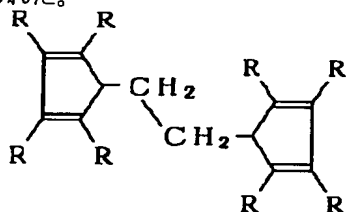
トし、 10^{-8} torrまで真空引きし、基板温度25℃で式(4)の有機化合物を0.01nm/secの速度で50nmの厚さに成膜する。次に式(3)の有機化合物を30nmの厚さに成膜する。さらに式(2)の有機化合物を50nmの厚さに成膜する。これらの最後に、真空蒸着法によりAl膜を100nmの厚さに形成する。

【0036】予め、TOF法によりキャリア(電子および正孔)の移動度を測定したところ、第1の有機膜O₁の電子移動度は約 10^{-3} cm²/V・sec、第2の有機膜O₂の電子移動度は約 10^{-8} cm²/V・sec、第2の有機膜O₂の正孔移動度は約 10^{-10} cm²/V

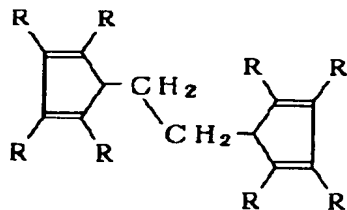
・sec、第3の有機膜O₃の正孔移動度は約 10^{-4} cm²/V・secであった。

【0037】また、本実施例においては、電子注入および正孔注入を考慮して、以下に示すように各電極と各有機膜とのエネルギー準位が最適化されている。ここで、第1の電極M₁および第2の電極M₂の仕事関数をE_{M1}、E_{M2}、第1の有機膜O₁についてバンドギャップをE_{a1}、価電子帯および伝導帯の真空準位からのエネルギー差をE_{v1}、E_{c1}、第2の有機膜O₂についてバンドギャップをE_{a2}、価電子帯および伝導帯の真空準位からのエネルギー差をE_{v2}、E_{c2}、第3の有機膜O₃についてバンドギャップをE_{a3}、価電子帯および伝導帯の真空準位からのエネルギー差をE_{v3}、E_{c3}とする。

【0038】図10に本実施例の素子の接合状態を示す。E_{M1}-E_{c1} ≤ 0.6 eV、E_{c1}-E_{c2} ≤ 0.6 eVであり、第1の電極M₁から第1の有機膜O₁を介して第2の有機膜O₂へ電子が注入されやすい関係になっている。同様に、E_{v3}-E_{M2} ≤ 0.6 eV、E_{v2}-E_{v3} ≤ 0.6 eVであり、第2の電極M₂から第3の有機膜O₃を介して第2の有機膜O₂へ正孔が注入されやすい関係になっている。図11に示すように、この素子においても前述した原理にしたがって発光が起こる。この素子に10Vの電圧を印加すると、100 mA/cm²の電流が流れ、波長500 nmの青緑色の発光が2000 cd/cm²の輝度で得られた。



【0043】



【0044】この素子は、発光層3以外は実施例3と同様にして作製された。発光層3は以下のようにして作製された。0.01 nm/secの膜成長速度で、有機膜O₂₁ 3-1を3 nmの厚さに形成し、次に有機膜O₂₂ 3-2を3 nmの厚さに形成する。これらの工程を5回繰り返し、さらに有機膜O₂₁ 3-1を3 nmの厚さに形成する。このようにして作製された発光層3は結晶構造を有する。なお、発光層3を構成する2種の有機膜O₂₁ 3-1、O₂₂ 3-2に関してはいずれも、電子および正孔の移動度がともに 10^{-2} cm²/V・sec程度である。

【0045】図13に本実施例の素子の接合状態を示

* (実施例3)

【0039】実施例2の第1の有機膜O₁と第3の有機膜O₃とを結晶化させた有機EL素子を作製した。具体的には、第1の有機膜O₁および第3の有機膜O₃の成膜時に、基板温度を50℃に上昇させて膜成長速度を0.002 nm/secに減少させ、ゆっくりと成長させた。

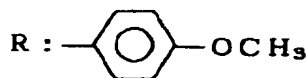
【0040】予めこのような条件で成膜された有機膜のキャリア移動度をTOF法により測定したところ、第1の有機膜O₁の電子移動度は約 10^0 cm²/V・sec、第3の有機膜O₃の正孔移動度は約 10^{-1} cm²/V・secであった。この素子では、動作電圧を実施例2の約1/2に低減することができた。

(実施例4)

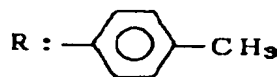
【0041】図12に本実施例の有機EL素子を示す。この素子は、上から見てA1からなる第1の電極M₁、1、電子注入層2として前記化学式(2)の有機化合物からなる第1の有機膜O₁、下記化学式(5)の有機化合物からなる有機膜O₂₁ 3₁と下記化学式(6)の有機化合物からなる有機膜O₂₂ 3₂とが交互に積層された発光層3、正孔注入層4として前記化学式(4)の有機化合物からなる第3の有機膜O₃、ITO膜からなる第2の電極M₂ 5およびガラス基板6で構成されている。

【0042】

【化5】



※ ※ 【化6】



す。発光層を構成する2種の有機膜O₂₁、O₂₂に関して、各々のバンドギャップをE_{a21}、E_{a22}とし、各々の価電子帯、伝導帯の真空準位からのエネルギー差をE_{v21}、E_{c21}、E_{v22}、E_{c22}とする。本実施例の素子では、E_{a21} = 2.1 eV、E_{a22} = 2.5 eV、E_{v21} = 5.8 eV、E_{c21} = 3.7 eV、E_{v22} = 6.0 eV、E_{c22} = 3.5 eVとなっている。すなわち、発光層のバンドは連続した浅い井戸型ポテンシャル構造を形成している。また、予めTOF法によりこのような連続した井戸型ポテンシャル構造を持つ発光層のキャリア(電子および正孔)の移動度を測定したところ、電子移動度、正孔移動度ともに 10^{-6} cm²/V・secで

あった。図14に示すように、この素子においても前述した原理にしたがって発光が起こる。この素子に5Vの電圧を印加すると、 $50\text{mA}/\text{cm}^2$ の電流が流れ、波長 550nm の緑色の発光が $3000\text{cd}/\text{cm}^2$ の輝度で得られた。

【0046】比較のために、有機膜 O_{21} のみにより発光層が形成された素子を作製した。比較例の有機EL素子では、実施例4と同一の印加電圧でほぼ同程度の電流が流れたが、発光輝度が $200\text{cd}/\text{cm}^2$ と大幅に低下した。これは、比較例の素子では発光層にキャリアを滞留させる作用が得られず、キャリアが再結合せずに対向電極へ流れ去る確率が増えたためである。

【0047】

【発明の効果】以上詳述したように本発明によれば高効率の有機EL素子を提供できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る有機EL素子の概略構成図。

【図2】同素子の接合状態を示すエネルギーバンド図。

【図3】同素子の作用を示すエネルギーバンド図。

10

*【図4】同素子の作用を示すエネルギーバンド図。

【図5】本発明に係る他の有機EL素子の接合状態を示すエネルギーバンド図。

【図6】同素子の作用を示すエネルギーバンド図。

【図7】本発明に係るさらに他の有機EL素子を構成する発光層の接合状態を示すエネルギーバンド図。

【図8】同素子の作用を示す発光層のエネルギーバンド図。

【図9】本発明の実施例2における有機EL素子の概略構成図。

【図10】同素子の接合状態を示すエネルギーバンド図。

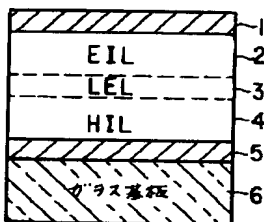
【図11】同素子の作用を示すエネルギーバンド図。

【図12】本発明の実施例3における有機EL素子の概略構成図。

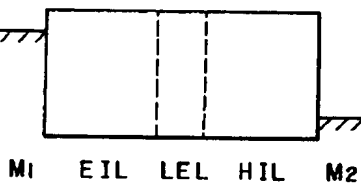
【図13】同素子の接合状態を示すエネルギーバンド図。

【図14】同素子の作用を示すエネルギーバンド図。

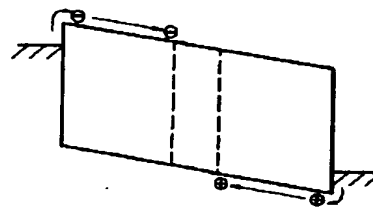
【図1】



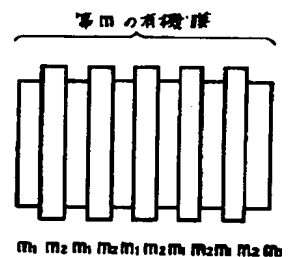
【図2】



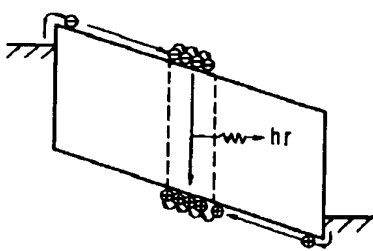
【図3】



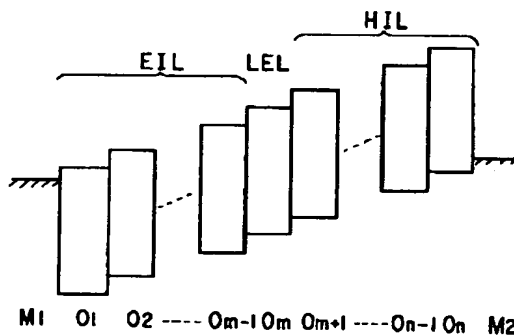
【図7】



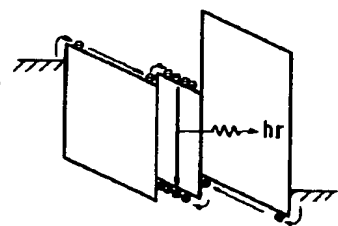
【図4】



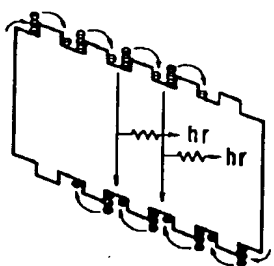
【図5】



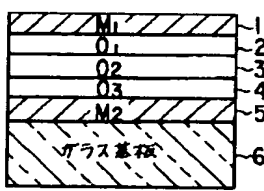
【図11】



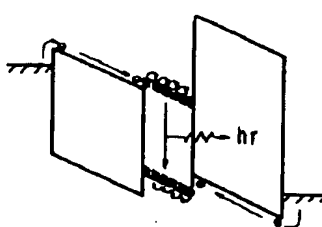
【図8】



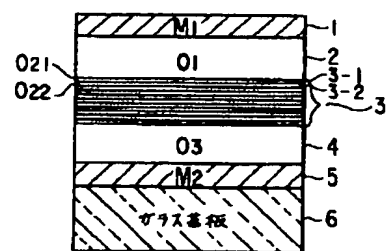
【図9】



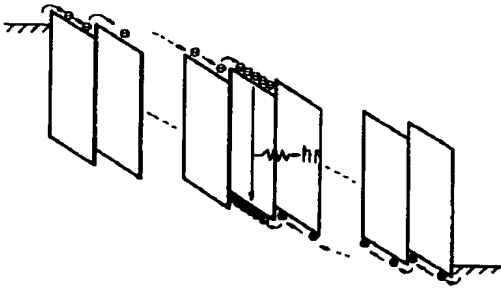
【図14】



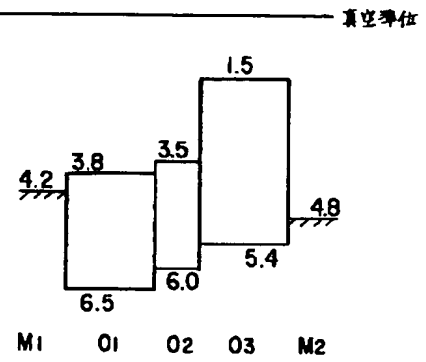
【図12】



【図6】



【図10】



【図13】

